

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-174721

(P2002-174721A)

(43) 公開日 平成14年6月21日 (2002.6.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
G 0 2 B	5/28	G 0 2 B	2 H 0 4 1
26/00		26/00	2 H 0 4 8

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-371261 (P2000-371261)

(22) 出願日 平成12年12月6日 (2000.12.6)

(71) 出願人 000006507

横河電機株式会社

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号

(72) 発明者 原 仁

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内

(72) 発明者 野呂 誠

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内

(72) 発明者 鈴木 健太郎

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内

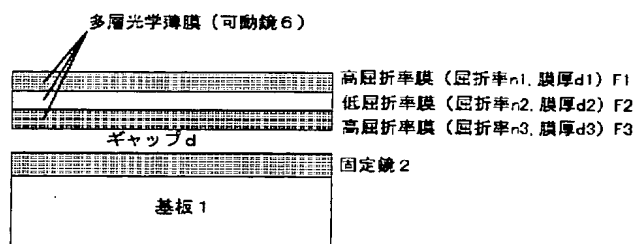
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ファブリペローフィルタ

(57) 【要約】

【課題】 可動鏡を構成する膜の応力の設計範囲を広くするとともに、その膜の成膜装置依存性を小さくした波長可変ファブリペローフィルタを提供する。

【解決手段】 ファブリペローフィルタの可動鏡を、引張応力を示す膜と圧縮応力を示す膜とを積層してなる多層光学薄膜、又は、互いに異なる引張応力を示す膜を積層してなる多層光学薄膜により形成する。多層光学薄膜は、例えば、高屈折率膜 F 1 / 低屈折率膜 F 2 / 高屈折率膜 F 3 をこの順で積層した 3 層構造とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡とを有し、可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたファブリペローフィルタにおいて、前記可動鏡を、引張応力を示す少なくとも1枚の膜と、圧縮応力を示す少なくとも1枚の膜とを積層してなる多層光学薄膜により形成したことを特徴とするファブリペローフィルタ。

【請求項2】固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡とを有し、可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたファブリペローフィルタにおいて、前記可動鏡を、互いに異なる引張応力を示す少なくとも2枚の膜を積層してなる多層光学薄膜により形成したことを特徴とするファブリペローフィルタ。

【請求項3】多層光学薄膜が、高屈折率膜、低屈折率膜及び高屈折率膜をこの順で積層した3層構造の光学薄膜である請求項1又は2に記載のファブリペローフィルタ。

【請求項4】多層光学薄膜が、下記(a)～(d)のいずれかの構造を有する3層構造の光学薄膜である請求項3に記載のファブリペローフィルタ。

(a) 圧縮応力を示す高屈折率膜、引張応力を示す低屈折率膜及び圧縮応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

(b) 引張応力を示す高屈折率膜、圧縮応力を示す低屈折率膜及び引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

(c) 小さい引張応力を示す高屈折率膜、大きい引張応力を示す低屈折率膜及び小さい引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

(d) 大きい引張応力を示す高屈折率膜、小さい引張応力を示す低屈折率膜及び大きい引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

【請求項5】多層光学薄膜の光学膜厚が $\lambda/4$ (λ :波長)である請求項1～4のいずれか1項に記載のファブリペローフィルタ。

【請求項6】固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡と、固定鏡に設けられた固定電極と、可動鏡に設けられた可動電極とを有し、固定電極と可動電極との間に電圧を印加して可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたファブリペローフィルタにおいて、前記固定電極と可動電極との間に絶縁膜を配置したことを特徴とするファブリペローフィルタ。

【請求項7】固定電極上に絶縁膜が設けられている請求項6に記載のファブリペローフィルタ。

【請求項8】絶縁膜が窒化シリコン又は酸化シリコンにより形成されている請求項6又は7に記載のファブリペ

ローフィルタ。

【請求項9】基板上に形成された固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡とを有し、可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたファブリペローフィルタにおいて、前記ギャップは、固定鏡と可動鏡との間に予め所定の形状及び大きさの犠牲層を設けた後、この犠牲層をエッチングによりすべて、あるいは一部を除去することによって形成されたものであることを特徴とするファブリペローフィルタ。

【請求項10】犠牲層の縦断面形状を略台形状とし、前記犠牲層外の領域において前記可動電極と前記固定電極を取出すための電極パッドを形成した請求項9に記載のファブリペローフィルタ。

【請求項11】前記基板の裏面に形成される反射防止膜と、前記反射防止膜上に保護層を介して形成され一部に光透過部を有する金属のアパーチャとを設け、前記犠牲層をエッチングにより除去した後に前記光透過部の前記保護層を除去した請求項9及び請求項10に記載のファブリペローフィルタ。

【請求項12】前記可動鏡の中心及び外周部に前記犠牲層をエッチングするためのエッチングホールを設けた請求項9及び請求項10に記載のファブリペローフィルタ。

【請求項13】引張応力を示す少なくとも1枚の膜と、圧縮応力を示す少なくとも1枚の膜とを積層してなる多層光学薄膜。

【請求項14】互いに異なる引張応力を示す少なくとも2枚の膜を積層してなる多層光学薄膜。

【請求項15】高屈折率膜、低屈折率膜及び高屈折率膜をこの順で積層した3層構造を有する請求項13又は14に記載の多層光学薄膜。

【請求項16】下記(a)～(d)のいずれかの3層構造を有する請求項15に記載の多層光学薄膜。

(a) 圧縮応力を示す高屈折率膜、引張応力を示す低屈折率膜及び圧縮応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

(b) 引張応力を示す高屈折率膜、圧縮応力を示す低屈折率膜及び引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

(c) 小さい引張応力を示す高屈折率膜、大きい引張応力を示す低屈折率膜及び小さい引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

(d) 大きい引張応力を示す高屈折率膜、小さい引張応力を示す低屈折率膜及び大きい引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

【請求項17】請求項13～16のいずれか1項に記載の多層光学薄膜を用いたことを特徴とする光学素子。

【請求項18】2つ以上の電極を対向させ、それら電極間に電圧を印加して駆動力を発生させる静電アクチュエ

ータにおいて、電極と電極との間に絶縁膜を配置したことを特徴とする静電アクチュエータ。

【請求項 1 9】電極上に絶縁膜が設けられている請求項 1 8 に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 2 0】請求項 1 8 又は 1 9 に記載の静電アクチュエータ用いて鏡を駆動させることを特徴とする光学素子。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、光を波長選択的に透過させる波長選択フィルタとして使用されるファブリペローフィルタに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】ファブリペローフィルタは、図 1 1 に示すように、反射率の高い対の鏡 2 1、2 2 を平行に向かい合わせ、それらの間にギャップを形成した素子（ファブリーペロー板）を用いた光学フィルタであり、光（例えば赤外線）を波長選択的に透過させる波長選択フィルタとして使用される。

【0 0 0 3】ファブリペローフィルタにおいて、ギャップの長さ（間隔）を d 、ギャップ内の屈折率を n とすると、入射光のうち下記式（1）の位相関係を満たす光が干渉効果により強め合って出射光となる。下記式において δ は位相差、 ϕ は素子への入射角、 λ は光の波長である。また、光透過の様子は図 1 2 のようになる。

【0 0 0 4】

$$\delta = 4 \pi n d \cos \phi / \lambda \quad \text{式 (1)}$$

【0 0 0 5】ファブリペローフィルタは、ギャップの長さ d を可変とすることにより、透過する出射光の波長を変化させることができる。このような波長可変ファブリペローフィルタとして、従来、固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡と、固定鏡に設けられた固定電極と、可動鏡に設けられた可動電極とを有し、固定電極と可動電極との間に電圧を印加して可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたものがある。例えば、非分散型赤外線 CO_2 センサの波長選択フィルタとして使用される波長可変ファブリペローフィルタとして、 CO_2 吸収波長（約 $4.25 \mu\text{m}$ ）とリファレンス波長（約 $3.9 \mu\text{m}$ ）を選択的に透過させるものがある。

【0 0 0 6】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前述した従来の波長可変ファブリペローフィルタは、以下に述べる

(A) ～ (C) の問題点を有するものであった。

(A) 従来の波長可変ファブリペローフィルタは、図 1 3 に示すように、可動鏡 6 を単層構造の光学薄膜により形成している。なお、固定鏡 4 は基板 1 上に設けられている。このような単層構造の可動鏡 6 を作製するためには、可動鏡 6 を形成する膜自体が引張応力を示すように

なる成膜材料や成膜条件を選択する必要がある。例えば可動鏡 6 をポリシリコン（単結晶シリコン）で形成する場合には、ポリシリコン膜が引張応力を示すようになる条件で成膜したり、ポリシリコンに不純物をドーピングしたりする必要がある。しかし、これらの成膜方法を採用した場合、下記 1 ～ 3 の問題が生じていた。

1. 成膜条件によって膜の引張応力がばらつき、膜の応力制御の成膜装置依存性が高くなる。例えば、ポリシリコン膜を LPCVD 装置で成膜する場合、成膜温度 600°C 付近では引張応力であるが、 570°C 以下や 620°C 以上では圧縮応力となる。

2. 圧縮応力の材料を使うためには、構造の工夫（膜の周りにフレームを付ける）などが必要であるとともに、面積の大きな膜を自立させることが困難である。

3. 上記 1、2 により、自立した膜の応力の設計範囲が狭く、物性で決まる応力しか選択できない。

【0 0 0 7】(B) 従来の波長可変ファブリペローフィルタは、2 つの電極を対向させ、それら電極間に電圧を印加して駆動力を発生させることにより、固定鏡と可動鏡との間のギャップの長さを制御している。このファブリペローフィルタでは、動作時に静電気等によって両電極間に定格以上の過電圧が印加される機会はまれではない。このように電極間に定格以上の電圧が印加されると、電圧印加により鏡同士が近接あるいは接触し、印加電圧により絶縁破壊を生じ短絡電流が流れる。その結果、鏡が破壊したり、鏡同士が融着したりして、印加電圧をゼロに戻しても鏡の間隔が元の状態に復帰しなくなる。あるいは、鏡がヒステリシス特性を持つようになる。つまり、波長分別が不可能になったり、本来設計された「印加電圧－透過波長特性」が損なわれたりする。

【0 0 0 8】(C) 従来の波長可変ファブリペローフィルタは、図 1 4 に示すように、固定鏡 4 と可動鏡 6 との間に設けた犠牲層 5 をエッチングホール 8 からエッチング液によりエッチングし、所望の大きさまで犠牲層 5 をエッチングした時点でエッチングを停止することにより、固定鏡 4 と可動鏡 6 との間のエアギャップ 1 4 を形成している。しかし、このギャップ形成方法を採用した場合、下記 1 ～ 3 の問題が生じていた。

1. エッチング温度やエッチング液の寿命、濃度の違いなどに起因するエッチング速度のばらつきにより、犠牲層 5 のエッチングによって形成される可動鏡（ダイアフラム）6 の大きさを一定に保つことが困難である。

2. 電極間に印可する電圧による静電吸引力と膜張力との釣り合いでギャップを精密に位置制御するため、個体間のダイアフラム寸法の違いに伴い、所望のギャップが得られる印可電圧も個体間で異なる。したがって、個体ごとの校正が必要になる。

3. エッチングを途中で止めるため、犠牲層 5 の端部の微視的形狀を一定に保つことが困難であり、その形状によって上記の印加電圧が変化する可能性がある。

4. 基板1のほぼ全面に犠牲層5があるため、上部膜にピンホールが発生した場合、エッチング後に予期しない部分にギャップができ、素子不良やゴミ発生等の原因になり得る。

【0009】本発明は、前述した事情に鑑みてなされたもので、その第1の目的は、可動鏡を構成する膜の応力の設計範囲を広くするとともに、その膜の成膜装置依存性を小さくした波長可変ファブリペローフィルタを提供することにある。本発明の第2の目的は、電極間に定格以上の電圧が印加されたときなどに鏡が破壊したり、鏡同士が融着したりすることを防止した波長可変ファブリペローフィルタを提供することにある。本発明の第3の目的は、可動鏡(ダイアフラム)の大きさを精度良く一定に保ち、所望ギャップが得られる印加電圧の個体間のばらつきを小さくした波長可変ファブリペローフィルタを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、第1の目的を達成するため、下記(1)～(5)の発明(第1発明)を提供する。

(1) 固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡とを有し、可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたファブリペローフィルタにおいて、前記可動鏡を、引張応力を示す少なくとも1枚の膜と、圧縮応力を示す少なくとも1枚の膜とを積層してなる多層光学薄膜により形成したことを特徴とするファブリペローフィルタ。

【0011】(2) 固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡とを有し、可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたファブリペローフィルタにおいて、前記可動鏡を、互いに異なる引張応力を示す少なくとも2枚の膜を積層してなる多層光学薄膜により形成したことを特徴とするファブリペローフィルタ。

【0012】(3) 多層光学薄膜が、高屈折率膜、低屈折率膜及び高屈折率膜をこの順で積層した3層構造の光学薄膜である(1)、(2)のファブリペローフィルタ。

【0013】(4) 多層光学薄膜が、下記(a)～(d)のいずれかの構造を有する3層構造の光学薄膜である(3)のファブリペローフィルタ。

(a) 圧縮応力を示す高屈折率膜、引張応力を示す低屈折率膜及び圧縮応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

(b) 引張応力を示す高屈折率膜、圧縮応力を示す低屈折率膜及び引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

(c) 小さい引張応力を示す高屈折率膜、大きい引張応力を示す低屈折率膜及び小さい引張応力を示す高屈折率

膜をこの順で積層した構造。

(d) 大きい引張応力を示す高屈折率膜、小さい引張応力を示す低屈折率膜及び大きい引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

【0014】(5) 多層光学薄膜の光学膜厚が $\lambda/4$ (λ :波長)である(1)～(4)のファブリペローフィルタ。

【0015】本発明は、第2の目的を達成するため、下記(6)～(8)の発明(第2発明)を提供する。

(6) 固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡と、固定鏡に設けられた固定電極と、可動鏡に設けられた可動電極とを有し、固定電極と可動電極との間に電圧を印加して可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたファブリペローフィルタにおいて、前記固定電極と可動電極との間に絶縁膜を配置したことを特徴とするファブリペローフィルタ。

【0016】(7) 固定電極上に絶縁膜が設けられている(6)のファブリペローフィルタ。

【0017】(8) 絶縁膜が窒化シリコン又は酸化シリコンにより形成されている(6)、(7)のファブリペローフィルタ。

【0018】本発明は、第3の目的を達成するため、下記(9)～(12)の発明(第3発明)を提供する。

(9) 基板上に形成された固定鏡と、固定鏡との間にギャップを形成した状態で固定鏡に対向配置された可動鏡とを有し、可動鏡を固定鏡に対して変位させることにより前記ギャップの長さを可変としたファブリペローフィルタにおいて、前記ギャップは、固定鏡と可動鏡との間に予め所定の形状及び大きさの犠牲層を設けた後、この犠牲層をエッチングによりすべて、あるいは一部を除去することによって形成されたものであることを特徴とするファブリペローフィルタ。

【0019】(10) 犠牲層の縦断面形状を略台形状とし、前記犠牲層外の領域において前記可動電極と前記固定電極を外部に取出すための電極パッドを形成した(9)に記載のファブリペローフィルタ。

【0020】(11) 前記基板の裏面に形成される反射防止膜と、前記反射防止膜上に保護層を介して形成される一部に光透過部を有する金属のアパーチャとを設け、前記犠牲層をエッチングにより除去した後に前記光透過部の前記保護膜を除去した(9)及び(10)に記載のファブリペローフィルタ。

【0021】(12) 前記可動鏡の中心及び外周部に前記犠牲層をエッチングするためのエッチングホールを設けた(9)及び(10)に記載のファブリペローフィルタ。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明につきさらに詳しく説明する。まず、第1発明について説明する。第1発明

では、引張応力を示す膜（引張応力膜）と圧縮応力を示す膜（圧縮応力膜）とを積層してなる多層光学薄膜、又は、互いに異なる引張応力を示す引張応力膜を積層してなる多層光学薄膜により可動鏡を形成する。引張応力膜及び圧縮応力膜は、それぞれ例えばポリシリコン（単結晶シリコン）、酸化シリコン、窒化シリコン等で形成することができる。引張応力膜と圧縮応力膜の組み合わせ又は引張応力膜同士の組み合わせとしては下記のを例示できる。

【0023】・圧縮応力膜（ポリシリコン）と引張応力膜（窒化シリコン）の組み合わせ

・圧縮応力膜（ポリシリコン）と引張応力膜（酸化シリコン）の組み合わせ

・圧縮応力膜（酸化シリコン）と引張応力膜（ポリシリコン）の組み合わせ

・圧縮応力膜（窒化シリコン）と引張応力膜（ポリシリコン）の組み合わせ

・引張応力膜（ポリシリコン）と引張応力膜（窒化シリコン）の組み合わせ

・引張応力膜（ポリシリコン）と引張応力膜（酸化シリコン）の組み合わせ

【0024】第1発明において、多層光学薄膜（可動鏡）は、図1に示すように、高屈折率膜F1／低屈折率*

$$\lambda/4 = n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 \quad \text{式(2)}$$

【0028】 λ : 波長

n : 単層膜の屈折率

d : 単層膜の膜厚

n_1 : 高屈折率膜F1の屈折率

d_1 : 高屈折率膜F1の膜厚

n_2 : 低屈折率膜F2の屈折率

d_2 : 低屈折率膜F2の膜厚

$$\sigma = (\sigma_1 d_1 + \sigma_2 d_2 + \sigma_3 d_3) / (d_1 + d_2 + d_3) \quad \text{式(3)}$$

【0031】したがって、例えば高屈折率膜F1、F3が圧縮応力（ σ_1 、 σ_3 ）を示し、低屈折率膜F2が引張応力（ σ_2 ）を示すとする、膜厚 d_1 、 d_2 、 d_3 を選択すれば、圧縮から引張までの3層膜全体の膜応力 σ を設計できる。

【0032】ここで、可動鏡に単層膜（ポリシリコン）を用いた場合と、高屈折率膜F1（圧縮応力膜：ポリシリコン）／低屈折率膜F2（引張応力膜：窒化シリコン）／高屈折率膜F3（圧縮応力膜：ポリシリコン）の3層膜を用いた場合の透過特性（設計波長 $\lambda = 4.25 \mu\text{m}$ ）を図2に示す。

【0033】図2の計算に用いた数値は以下の通りである。

単層膜

$$n = 3.4245$$

$$d = 310 \text{ nm}$$

$$\sigma = -100 \text{ MPa}$$

3層膜

*膜F2／高屈折率膜F3をこの順で積層した3層構造の光学薄膜であることが好ましい。これにより、膜応力設計の自由度を高くすることができる。上記3層構造の光学薄膜として、具体的には下記（a）～（d）の構造を有する光学薄膜を挙げることができる。

【0025】（a）圧縮応力を示す高屈折率膜F1／引張応力を示す低屈折率膜F2／圧縮応力を示す高屈折率膜F3の3層構造。

（b）引張応力を示す高屈折率膜F1／圧縮応力を示す低屈折率膜F2／引張応力を示す高屈折率膜F3の3層構造。

（c）小さい引張応力を示す高屈折率膜F1／大きい引張応力を示す低屈折率膜F2／小さい引張応力を示す高屈折率膜F3の3層構造。

（d）大きい引張応力を示す高屈折率膜F1／小さい引張応力を示す低屈折率膜F2／大きい引張応力を示す高屈折率膜F3の3層構造。

【0026】第1発明の多層光学薄膜は、その光学膜厚が $\lambda/4$ （ λ ：波長）であること、すなわち光学膜厚 $\lambda/4$ の単層膜相当の多層膜であることが適当である。この場合、図1の3層膜は下記式（2）を満たすと光学的に光学膜厚 $\lambda/4$ の単層膜相当となる。

【0027】

※ n_3 : 高屈折率膜F3の屈折率

d_3 : 高屈折率膜F3の膜厚

【0029】多層光学薄膜（可動鏡）として3層膜を用いる場合、各膜の膜応力をそれぞれ σ_1 、 σ_2 、 σ_3 とすると、3層膜全体の膜応力 σ は近似的に下記式（3）で表される。

※ 【0030】

・高屈折率膜F1（圧縮応力膜：ポリシリコン）

$$n_1 = 3.4245$$

$$d_1 = 140 \text{ nm}$$

$$\sigma_1 = -100 \text{ MPa}$$

・低屈折率膜F2（引張応力膜：窒化シリコン）

$$n_2 = 2.05$$

$$d_2 = 50 \text{ nm}$$

$$\sigma_2 = 1000 \text{ MPa}$$

・高屈折率膜F3（圧縮応力膜：ポリシリコン）

$$n_3 = 3.4245$$

$$d_3 = 140 \text{ nm}$$

$$\sigma_3 = -100 \text{ MPa}$$

光学膜厚

$$n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 = \lambda/4 = 4.25/4 \mu\text{m}$$

膜応力

$$76 \text{ MPaの引張応力}$$

【0034】図2より、3層可動鏡を用いたファブリペ

ローフィルタ（図3参照）と、単層可動鏡を用いたファブリペローフィルタ（図4参照）は、分光特性がほぼ同じであることがわかる。また、単層では圧縮応力で自立しない（座屈する）膜も、3層構造にすると全体的な膜応力が引張応力となるため自立することがわかる。

【0035】なお、第1発明は上述の記載に制限されるものではなく、例えば下記のような応用、変形等が可能である。

1. 3層膜のうちの上下の膜の膜厚バランスを変えることで、自立した可動鏡を上にも凸又は下にも凸にすることができる。特に、図5に示すように上にも凸の可動鏡を備えたファブリペローフィルタは、光の閉じ込め効果が期待でき、最大透過率の向上が可能である。

2. 多層光学薄膜の光学膜厚は $4/\lambda$ としてもよい。

【0036】次に、第2発明について説明する。第2発明では、固定電極と可動電極との間に絶縁膜を配置する。絶縁膜の配置位置に必ずしも限定はないが、固定電極上に絶縁膜を設けることが適当である（後記実施例参照）。また、絶縁膜の材質にも限定はなく、例えば窒化シリコン、酸化シリコン等によって絶縁膜を形成することができ

【0037】さらに、第3発明について説明する。第3発明では、固定鏡と可動鏡との間のギャップを形成するに当たり、固定鏡と可動鏡との間に予め所定の形状及び大きさの犠牲層を設けた後、エッチングにより前記犠牲層をすべて除去する。例えば、犠牲層を所望の可動鏡（ダイアフラム）の大きさに対応する大きさ形成し、さらに可動鏡等を成膜した後、エッチングホール越しにウェットエッチングにより犠牲層をすべて除去する。ダイアフラムの大きさは犠牲層形成時のエッチング精度には依存するが、犠牲層除去時のエッチング精度には依存しなくなるため、より精度の高いギャップの形成が可能になる。この場合、犠牲層の形状に限定はないが、応力集中を緩和する効果を有する点で犠牲層の縦断面形状を略台形状とすることが好ましい。

【0038】ところで、第1発明で用いる多層光学薄膜は、ファブリペローフィルタ以外の光学素子にも適用可能である。したがって、本発明は、下記（13）～（17）の発明をも提供する。

【0039】（13）引張応力を示す少なくとも1枚の膜と、圧縮応力を示す少なくとも1枚の膜とを積層してなる多層光学薄膜。

【0040】（14）互いに異なる引張応力を示す少なくとも2枚の膜を積層してなる多層光学薄膜。

【0041】（15）高屈折率膜、低屈折率膜及び高屈折率膜をこの順で積層した3層構造を有する（13）、（14）に記載の多層光学薄膜。

【0042】（16）下記（a）～（d）のいずれかの3層構造を有する（15）の多層光学薄膜。

（a）圧縮応力を示す高屈折率膜、引張応力を示す低屈

折率膜及び圧縮応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

（b）引張応力を示す高屈折率膜、圧縮応力を示す低屈折率膜及び引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

（c）小さい引張応力を示す高屈折率膜、大きい引張応力を示す低屈折率膜及び小さい引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

（d）大きい引張応力を示す高屈折率膜、小さい引張応力を示す低屈折率膜及び大きい引張応力を示す高屈折率膜をこの順で積層した構造。

【0043】（17）（13）～（16）の多層光学薄膜を用いたことを特徴とする光学素子。

【0044】また、第2発明の技術的思想、すなわち、電極と電極との間に絶縁膜を配置することにより、電極間に定格以上の電圧が印加されたときなどに電極が破壊したり、電極同士が融着したりすることを防止する技術的思想は、2つ以上の電極を対向させ、その電極間に電圧を印加して駆動力を発生させる静電アクチュエータ全般に適用可能である。さらに、この第2発明の技術的思想は、上記静電アクチュエータを用いて鏡を駆動させる光学素子全般、例えば上記静電アクチュエータで反射鏡を駆動することにより光路を切り替える光学素子等に適用可能である。したがって、本発明は、下記（18）～（20）の発明をも提供する。

【0045】（18）2つ以上の電極を対向させ、それら電極間に電圧を印加して駆動力を発生させる静電アクチュエータにおいて、電極と電極との間に絶縁膜を配置したことを特徴とする静電アクチュエータ。

【0046】（19）電極上に絶縁膜が設けられている（18）の静電アクチュエータ。

【0047】（20）（18）、（19）の静電アクチュエータ用いて鏡を駆動させることを特徴とする光学素子。

【0048】静電アクチュエータの構造は、2つ以上の電極が基本構成要素であるため単純であり、 μm 単位から1mm程度までの微小量駆動の分野では、本発明の静電アクチュエータの応用範囲は多岐にわたる。特に、マイクロマシニング技術では、簡便にかつ低コストで本発明の静電アクチュエータを実現することが可能である。

【0049】

【実施例】以下に実施例を示す。

（実施例1）図6は実施例1のファブリペローフィルタを示す断面図である。このファブリペローフィルタは第1発明及び第3発明を使用している。また、図6（A）は犠牲層をエッチングする前の状態、図6（B）は犠牲層をエッチングした後の状態を示している。

【0050】図6において、1は基板、2は固定鏡、3は固定電極、4は層間絶縁膜、5は犠牲層、6は可動鏡、7は可動電極、8はエッチングホール、9は反射防

止膜、10は保護膜、11はアパーチャ、12は電極パッド、13は電極パッド、14はエアギャップ、15は光透過部を示す。

【0051】基板1は、透過波長帯域の光を透過する材料、例えばシリコン、サファイア、ゲルマニウムなどからなる。固定鏡2は、フィルタの中心波長 λ の1/4波長に相当する光学膜厚を有する単層又は多層膜からなる。多層膜としては、例えば高屈折率層をポリシリコン、低屈折率層を酸化シリコンで形成したものが挙げられる。固定電極3は、静電駆動のための電極であり、例えば固定鏡2のポリシリコンに不純物をドーピングした電極である。層間絶縁膜4は、固定電極3と可動電極7の絶縁を保つ絶縁膜であり、例えば窒化シリコンなどからなる。

【0052】犠牲層5は、ファブリペローフィルタを構成するために必要なエアギャップ14を形成するための部分である。所望の大きさのファブリペローフィルタを形成するための形状、大きさとし、また縦断面形状を台形にすることで応力集中を緩和する効果が得られる。犠牲層5は、例えばPSGや酸化シリコン膜などのフッ酸系のエッチャントにより除去可能な物質で形成する。

【0053】可動鏡6は、固定鏡2との間で干渉により特定波長を透過させる多層膜反射鏡である。例えば、上下の高屈折率層にシリコン、中間の低屈折率層に窒化シリコンを用い、 $\text{Si}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$ の3層で形成することができる。可動電極7は、静電駆動のための電極であり、例えば可動鏡6のシリコンに不純物をドーピングした電極である。エッチングホール8は、犠牲層5をエッチングするエッチング液が入るための穴であり、可動鏡の中心及び外周部に形成され、エッチング液の拡散と置換及び乾燥を容易にしている。

【0054】反射防止膜9は、高屈折率の基板を用いた場合に基板からの透過光の透過率を高めるための層で、透過波長帯域の光を有効に透過する光学膜厚を有する単層又は多層膜からなる。例えば、基板1がシリコンで反射防止膜9が酸化シリコンの組み合わせがある。保護膜10は、犠牲層エッチング時に反射防止膜9がエッチング液に侵されることを防止するための保護膜であり、例えば窒化シリコンからなる。

【0055】アパーチャ11は、光透過部を規定する層であり、例えばAuなどの金属膜からなる。アパーチャ11をエッチングすることにより光透過部15を形成する。電極パッド12は、可動電極7の電極取り出しパッドであり、例えばAuなどの金属膜からなる。電極パッド13は、固定電極3の電極取り出しパッドであり、例えばAuなどの金属膜からなる。エアギャップ14は、犠牲層5のエッチングで形成され、ファブリペローフィルタの固定鏡3と可動鏡6の干渉距離を形成する部分である。光透過部15は、ファブリペローフィルタの光透過部分である。尚、電極パッド12、13は犠牲層5の

外の領域に設けられる。

【0056】本例のファブリペローフィルタは、エッチングで除去される犠牲層5は、大きさが規定されているために、エッチングレートがばらついていても一定の大きさの可動鏡（ダイアフラム）6が形成でき、寸法精度の高い可変ギャップを有するファブリペローフィルタが実現できる。また、可動鏡6を前述の多層構造としたので、可動鏡6を構成する膜の応力の設計範囲を広くすることができるとともに、その膜の成膜装置依存性を小さくすることができる。

【0057】（実施例2）図7は実施例2のファブリペローフィルタを示す断面図である。このファブリペローフィルタは第1発明を使用している。なお、図7において図6と同じ部分には、同一の参照符号を付してその説明を省略し、可動鏡6の中心部のエッチングホール8は図面の簡略化のために省略した。

【0058】本例のファブリペローフィルタは、犠牲層5のエッチングをエッチング時間の制御によって途中で止めた構造の途中止めエアギャップ16を有する。すなわち、実施例1において、犠牲層5のエッチングを途中で止めることによってエアギャップ14を形成したもので、実施例1の構造において、ダイアフラム直径の異なる複数サイズのファブリペローフィルタを作ることができる。本例では、1つのプロセスで複数サイズのファブリペローフィルタを作ることができるため、可動鏡6の応力のばらつきで静電駆動電圧が変化してしまう場合には、エッチング時間の最適化によってダイアフラム直径を最適化することで、上記静電駆動電圧の変化を調整できるという利点がある。

【0059】（実施例3）図8は実施例3のファブリペローフィルタを示す断面図である。このファブリペローフィルタは第1発明、第2発明及び第3発明を使用している。なお、図8において図6と同じ部分には、同一の参照符号を付してその説明を省略し、可動鏡6の中心部のエッチングホール8は図面の簡略化のために省略した。

【0060】本例のファブリペローフィルタは、固定電極3と可動電極7が接触した場合にこれらが融着することを防止する融着防止膜（絶縁膜）17が、固定電極3上に設けられている。融着防止膜17は例えば窒化シリコンなどで形成される。融着防止膜17は実施例1、実施例2のいずれかの構造にも適用可能で、電極パッド12と電極パッド13に静電駆動電圧を印加して静電駆動する場合、可動電極7が固定電極3に引き寄せられて接触するPull-in現象が発生しても、融着防止膜17があると過電流が流れないため、融着などにより可動電極7が付着して戻らなくなる現象を回避できる。融着防止膜17はギャップ14内にあっても静電駆動に影響を与えない。

【0061】（実施例4）図9は実施例4のファブリペ

ローフィルタを示す断面図である。このファブリペローフィルタは第1発明及び第2発明を使用している。なお、図9において図6と同じ部分には、同一の参照符号を付してその説明を省略し、可動鏡6の中心部のエッチングホール8は図面の簡略化のために省略した。

【0062】本例のファブリペローフィルタは、実施例3において、実施例2と同様に犠牲層5のエッチングを途中止めすることによって途中止めエアギャップ18を形成したもので、実施例3の構造において、ダイアフラム直径の異なる複数サイズのファブリペローフィルタを作ることができる。したがって、本例は途中止めエアギャップ18に関し実施例2で述べたのと同様の利点を有する。また、実施例3と同様に、固定電極3と可動電極7が接触した場合にこれらが融着することを防止する融着防止膜（絶縁膜）17が、固定電極3上に設けられている。したがって、本例は融着防止膜17に関し実施例3で述べたのと同様の利点を有する。

【0063】（実施例5）図10は実施例5のファブリペローフィルタを示す断面図である。このファブリペローフィルタは第1発明及び第3発明を使用している。なお、図10において図6と同じ部分には、同一の参照符号を付してその説明を省略し、可動鏡6の中心部のエッチングホール8は図面の簡略化のために省略した。

【0064】本例のファブリペローフィルタは、実施例1において、保護膜10に代えて、保護層19及び保護層20を積層した裏面保護膜を設けたものである。この裏面保護膜は、犠牲層5のエッチング時に反射防止膜9を保護する膜であり、上側の保護層19は例えばポリシリコンなどからなり、下側の保護層20は例えば窒化シリコンなどからなる。本例の裏面保護膜は、実施例1～4のいずれにも適用できる。

【0065】保護層19に直に接触するように金属のアパーチャ11を成膜すると、光透過部15を形成する際に金属膜の残滓が発生する場合がある。これに対し、保護層19とアパーチャ11との間に保護層20を入れると、アパーチャ11が保護層19に接しないので、光透過部15の形成時にウェットエッチングで保護層20を除去して、さらに保護層19を除去すれば、光透過部15に金属膜の残滓が形成されず、光の透過率が向上する。

【0066】また、保護層10が窒化シリコンの場合（実施例1～4）には、フッ酸系のエッチング液で犠牲層をエッチングする際に、保護層10がエッチングされて膜厚が減少するが、保護膜19としてポリシリコン膜などの耐フッ酸性が強い膜を入れておけば、保護層20の窒化シリコン膜がエッチングされても、保護層19がエッチングストッパーとなり、反射防止膜9がフッ酸に侵されることはない。保護層19のポリシリコンは、犠牲層のエッチング後にドライエッチングによってアパーチャ11をマスクとして容易に除去することができる。

【0067】本例のようにポリシリコン／窒化シリコンといった構造の裏面保護膜を採用することによって、エッチング時間を長くした場合でも反射防止膜をエッチング液から保護することが可能となる。また、実施例1～4のように保護膜10が光透過部15にわずかに残ってしまう構造に比べて光透過部15の保護膜を完全に除去できるため、フィルタの光透過率を向上させることができる。

【0068】

【発明の効果】第1発明のファブリペローフィルタは、可動鏡を構成する膜の応力の設計範囲を広くすることができる。第2発明のファブリペローフィルタは、電極間に定格以上の電圧が印加されたときなどに鏡が破壊したり、鏡同士が融着したりすることを防止することができる。第3発明のファブリペローフィルタは、可動鏡（ダイアフラム）の大きさを精度良く一定に保ち、所望ギャップが得られる印加電圧の個体間のばらつきを小さくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1発明で用いる多層光学薄膜の一例を示す説明図である。

【図2】可動鏡に単層膜を用いたファブリペローフィルタ及び3層膜を用いたファブリペローフィルタの透過特性を示すグラフである。

【図3】3層可動鏡を用いたファブリペローフィルタの一例の説明図である。

【図4】単層可動鏡を用いたファブリペローフィルタの一例の説明図である。

【図5】第1発明で用いる多層光学薄膜の一例を示す説明図である。

【図6】実施例1のファブリペローフィルタを示す断面図である。

【図7】実施例2のファブリペローフィルタを示す断面図である。

【図8】実施例3のファブリペローフィルタを示す断面図である。

【図9】実施例4のファブリペローフィルタを示す断面図である。

【図10】実施例5のファブリペローフィルタを示す断面図である。

【図11】ファブリペロー板の説明図である。

【図12】ファブリペローフィルタにおける光透過の様子を示すグラフである。

【図13】従来のファブリペローフィルタの説明図である。

【図14】従来のファブリペローフィルタのギャップ形成方法を示す断面図である。

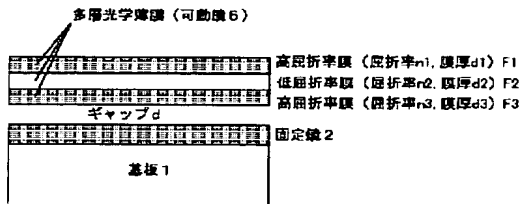
【符号の説明】

1 基板

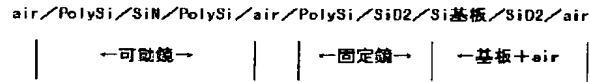
15

- 2 固定鏡
- 3 固定電極
- 4 層間絶縁膜
- 5 犠牲層
- 6 可動鏡
- 7 可動電極
- 8 エッチングホール
- 9 反射防止膜
- 10 保護膜
- 11 アパーチャ
- 12 電極パッド

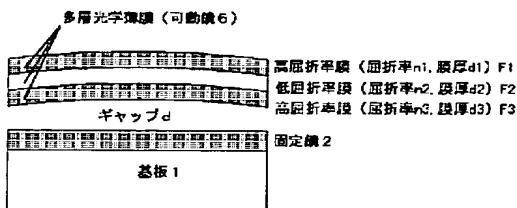
【図1】



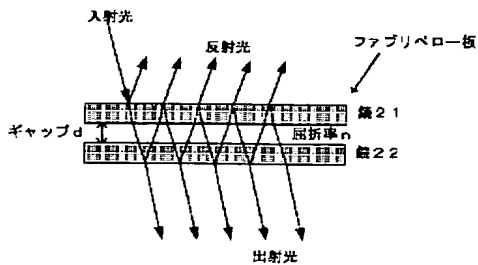
【図3】



【図5】



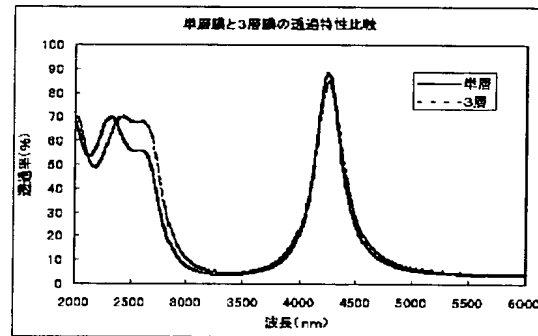
【図11】



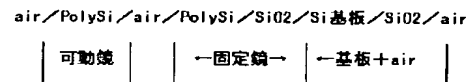
16

- 13 電極パッド
- 14 エアギャップ
- 15 光透過部
- 16 途中止めエアギャップ
- 17 融着防止膜 (絶縁膜)
- 18 途中止めエアギャップ
- 19 保護層
- 20 保護層
- F1, F3 高屈折率膜
- 10 F2 低屈折率膜

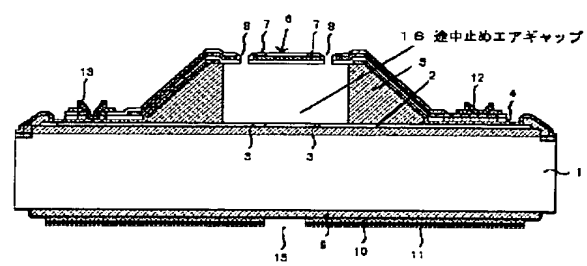
【図2】



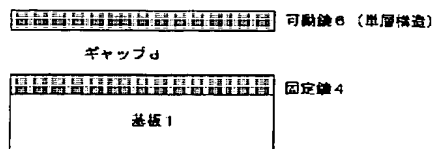
【図4】



【図7】

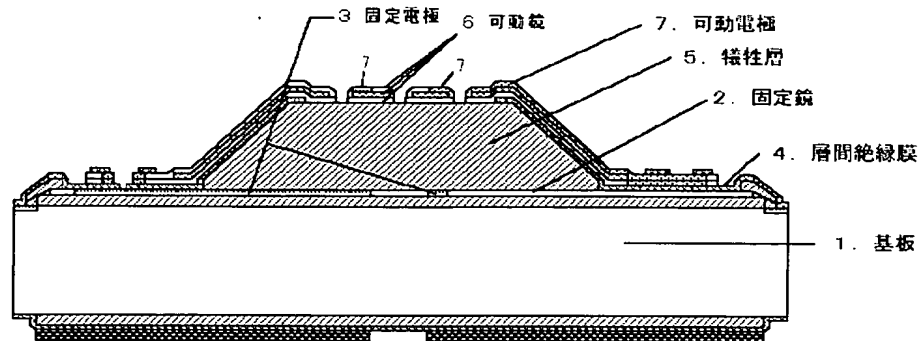


【図13】

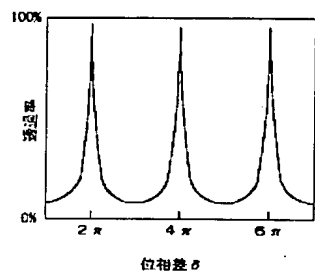


【図6】

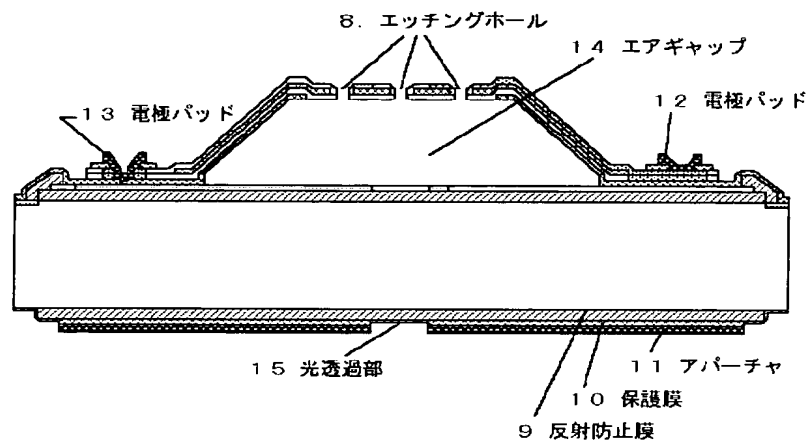
(A) 犠牲層エッチング前



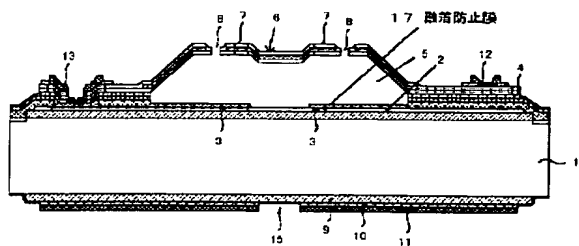
【図12】



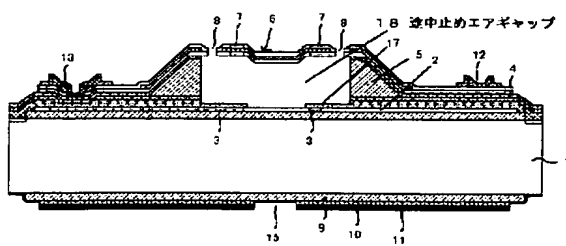
(B) 犠牲層エッチング後



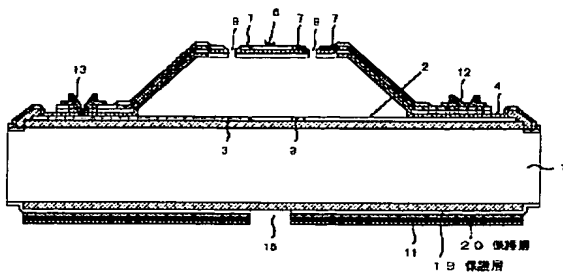
【図8】



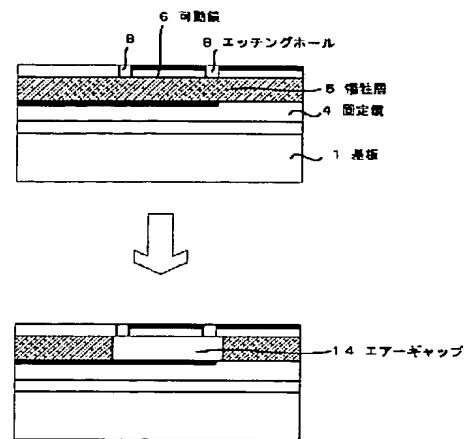
【図9】



【図10】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 岸 直輝
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河
電機株式会社内

(72)発明者 岩岡 秀人
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河
電機株式会社内

Fターム(参考) 2H041 AA05 AB10 AC06 AZ01 AZ08
2H048 GA07 GA13 GA33 GA51